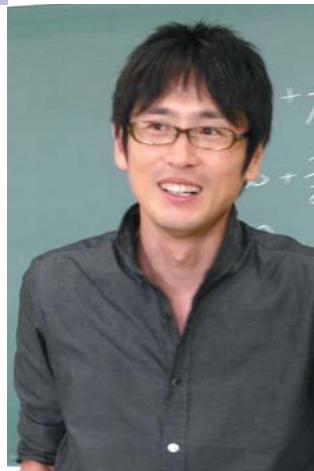


ネットワークの科学

研究代表者 郡 宏 | お茶の水女子大学基幹研究院准教授

研究代表者 増田 直紀 | ブリストル大学
Department of Engineering Mathematics 上級講師

ネットワークと見なされる対象・現象は多岐にわたり、そこでは人、物、情報、エネルギー等が絶え間なく流れている。ネットワーク上のダイナミクスに関する研究は、今後社会のニーズにいっそう応える科学に成長すると期待される。特に、ネットワークのレジリエンス(回復力、打たれ強さ)に関しては、現代社会からその解明が強く求められている。本プロジェクトは、理論研究者と個別分野の研究者が一堂に会してネットワークのより深い理解と新たな問題の発掘を行うことを目指す。



参加研究者リスト

| 氏名 | 所属・役職 |
|--------|---|
| 郡 宏 | お茶の水女子大学基幹研究院准教授 |
| 増田 直紀 | ブリストル大学 Department of Engineering Mathematics 上級講師 |
| 岩田 覚 | 東京大学大学院情報理工学系研究科教授 |
| 江崎 貴裕 | 東京大学工学系研究科学振PD |
| 翁長 朝功 | 京都大学大学院理学研究科博士課程 |
| 樺島 祥介 | 東京工業大学大学院総合理工学研究科教授 |
| 小林 亮太 | 国立情報学研究所情報学プリンシブル研究系特任助教 |
| 近藤 倫生 | 龍谷大学理工学部教授 |
| 高口 太朗 | 国立情報学研究所ビックデータ数理国際研究センター 特任研究員 |
| 高松 瑞代 | 中央大学理工学部准教授 |
| 高安 美佐子 | 東京工業大学大学院総合理工学研究科准教授 |
| 寺前 順之介 | 大阪大学大学院情報科学研究科准教授 |
| 中垣 俊之 | 北海道大学電子科学研究所教授 |
| 藤本 仰一 | 大阪大学大学院理学研究科准教授 |
| 吉田 悠一 | 国立情報学研究所情報学プリンシブル研究系准教授 |
| 渡辺 努 | 東京大学大学院経済学研究科教授 |

研究目的と方法

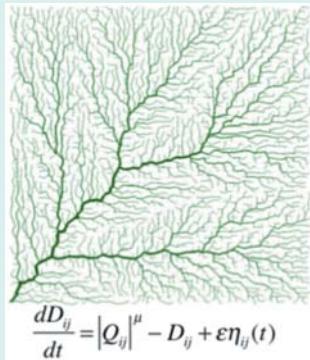
コミュニティにおける人と人のつながり、金融機関の取引関係、交通網、電力供給網、生態系の食物連鎖、脳神経系、遺伝子間における発現の相互調節など、互いに無関係に見えるこれらのネットワークも、その構造を抽象化してしまえば、構成要素を代表する多数の点と要素どうしをつなぐ結合線から成るオブジェクトとなる。ここに、ネットワークの科学が諸分野横断的な学として成立しうる根拠がある。この潜在的可能性を爆発的に顕在化させたのは1990年代末、応用数学や統計物理学の分野から提起された2つの概念、すなわちスケルフリー性(Barabási-Albert)、およびスモールワールド性(Watts-Strogatz)である。ネットワークの構造を特徴づけるこれらの性質が、実在のネットワークに広く共有されていることが明らかにされたのである。現実のネットワーク構造を知るためにには大量のデータが必要である。それが電子情報として容易に得られるようになった時代的背景にも支えられて、複雑ネットワークの科学はさまざまな分野を巻き込みながら急速な発展を遂げつつある。

要素間のつながりの構造(それはいくつかの統計的指標で特徴づけられる)に関する知識のみから、現実のネットワークに生起する現象について数多くの有用な知見が得られるのは確かである。しかし、静的なネットワーク構造だけでは十分ではないと考えられる場合も存在する。すなわち、現実のネットワーク上では人、物、情報、エネルギー等がたえまなく流れている。それらの動き、すなわちネットワークのダイナミクスに関する研究が進展することで、ネットワークの科学は社会のニーズにいっそう応える科学に成長するであろう。事実、この方面的研究は非常に活発である。

本プロジェクトは、以上のような背景のもとに、理論研究者と個別分野の研究者が一堂に会してネットワークのより深い理解と新たな問題の発掘を行うことを目指した。また、社会的に重要な課題の発掘と解決方法の提案も視野にいた。個別応用分野の研究発表を通じては、個別分野側と理論側の意識のずれ、共有可能な着地点、今後必要とされるコラボレーション、人材育成の方法等を議論した。理論側の研究者は、自身やその研究コミュニティが有する解析技術や興味に焦点をあてて発表を行った。

研究プロジェクトの総括

2014年度は、次の方針のもとで研究会を構成した。個別の応用分野では、その分野固有のネットワークの問題を扱うために、より実用的な解析手法が必要とされていると考えられる。また、個別分野で取り扱うネットワークの多くは自己組織的・進化的・合目的的に築き上げられたものであり、これらから、ロバストネスやレジリエンス等の動作原理や設計原理を読み解くことができ



ると期待される。そこで、個別分野側の研究者が、まずチュートリアルを含めた情報提供を行い、さらに、解析ニーズの観点から研究発表を行うことにより、可能な問題設定、今後必要とされるコラボレーション等を議論した。

2014年度の第1回研究会では、生物の実験研究者、生態系のフィールド研究者に、個別分

野におけるネットワーク的視点に基づく研究の狙いという視点から話題提供をして頂いた。そして、これらの分野でネットワークが関係する研究課題について議論を行った。まず、生物や社会システムに存在する輸送ネットワークの構造を、流量強化適応則を基軸に統一的に論じる試みが紹介された。ついで、群集ネットワークにおける複雑性-安定性関係にネットワーク構造の柔軟性や異なる種間相互作用の共存が及ぼす影響について、数理モデルを利用した研究・仮説が紹介された。また、企業から話題提供者を招聘し、ネットワーク科学の技術に関係するサービスと将来展望について発表をして頂いた。さらに、現在、世界で進行している、ネットワーク科学に関する巨大プロジェクトの内容と狙いについてのレビューと議論を行った。

第2回研究会では、理論研究者による話題提供を中心に行なった。劣モジュール関数を用いた最適化手法は、ネットワーク関係の諸問題に汎用的に用いられることが理解された。また、確率分布や情報量などを用いた汎用的な機械学習技術が紹介されるとともに、それらの応用例や最新の研究成果についての説明・議論がなされた。ついで、社会現象に関する2つの話題提供が行われた。都市の活性度を特徴付ける様々な指標と都市人口との間には、非線形のスケーリング則が存在する。また、企業の特徴量の確率分布間には条件付きスケーリング関係が見られる。こういった構造が関係するデータ計測と理論化について研究紹介や議論がなされた。最後に、ライフサイエンスにおけるネットワーク・モデリングの試みについて議論が行われた。

2015年度は、ネットワークが関係する日本特有の社会問題とその解決方法の可能性に特に焦点をあてて研究議論を行なった。そのような問題の例としては、地震、他の災害、高齢化などが挙げられる。これらの問題は、すでに政治家、知識人、研究者などが取り組んでいる課題であるが、本プロジェクトは、これらの問題への、広い意味でのネットワーク関連の手法を用いた数理的アプローチを行うこと、および、データドリブンなアプローチを議論することを特徴とする。問題解決に向けてとりうるアプローチとしては、1年目の会合で話題提供頂いた諸手法がそれぞれ有力なアプローチであることは含めて、最適化、機械学習、ロバスト性やレジリエンス性の手法や概念が挙げられよう。さらに、これまでの研究会を通して様々な研究のシーズが発見されたが、それをより具体化させることを目標とした話題提供を企画した。

検討した課題は以下の通りである。リーマンショック以降深刻な問題となっている金融市場のシステムック・リスクについて、ネットワーク的視点から、システムック・リスクを予測・回避するためのモデル開発；現代都市の機能更新の方法；動的ネットワークフローの理論に基づく避難計画の設計；低頻度で運行されている地域を対象として、円滑な乗換を可能にする時刻表の設計；災害時に都心部に集中している多数の通勤通学客の一斉帰宅に対する、帰宅時刻の制御による障害

回避；ネットワーク全体をシステム的にとらえる視点に基づく効率的な道路網や交通政策の設計；ネットワーク的視点を取り入れた経済モデルの検討；ネットワークのスパース性を利用して高次元データから情報抽出を行うための理論開発；生物・社会ネットワークにみられる非平衡系の巨視的な振舞いの理解；神経ネットワークによる情報処理の仕組みの解明；最適なインフラ網の自己組織化モデルの開発。

2年間の活動を通して、参加研究者の間で多くの貴重な情報が共有されたことが、一番の成果だと考えている。災害や人口減少といった社会問題を視野にいれた話題提供を行うことによって、異なる視点からネットワーク科学をとらえる機会を得ることができた。

今後の課題・期待される効果

ネットワークの科学をめぐる研究活動は現在非常に活発化しており、将来的に、より一層社会のニーズに応える科学に成長すると考えられる。反面、理論と現実とのギャップはなお大きい場合が多いといえる。生態系における種の絶滅や金融崩壊の深刻さからもうかがえるように、ネットワークのレジリエンス（回復力、打たれ強さ）など、とりわけ現代社会からその解明が強く求められる課題もある。このような状況下で、2016年2月にはレジリエンスについての理論研究がNature誌から発表された[Gao, Barzel, Barabási, Nature (2016)]。この研究はリジリエンスの研究における、課題とヒントをいくつか与えている。例えば、ロバスト性やペイシン安定性といった類似概念との関連性・相違性の整備、理論枠組みのさらなる拡充、統計物理学的手法を取り入れるなどの新しい理論開発などが課題として考えられる。

本プロジェクトの活動を通して、参加研究者の間で多くの貴重な情報が共有され、また、新規テーマ、共同研究、研究費申請のシーズが生まれた。これらの中にはすでに具体的な研究課題として進行しているものもあれば、いまだ漠然としたアイディア段階にとどまっているものもある。今後は、これらのシーズの研究、応用可能性を引き続き検討していく必要がある。本プロジェクトをきっかけに、参加研究者の間で、あるいはさらにもっと広い範囲の研究者を巻き込んで、分野横断的なテーマの共同研究が近い将来に始まるこことを期待している。

